

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑪ DE 3833342 A 1

⑳ Aktenzeichen: P 38 33 342.2  
㉔ Anmeldetag: 30. 9. 88  
㉕ Offenlegungstag: 5. 4. 90

⑤1 Int. Cl. 5:  
H02N 2/00  
B 06 B 1/06  
// G11B 21/02

DE 3833342 A 1

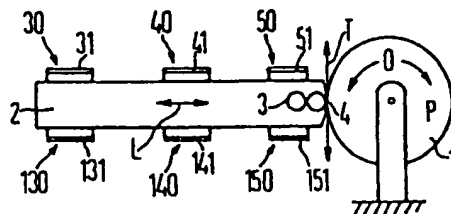
㉑ Anmelder:  
Siemens AG, 1000 Berlin und 8000 München, DE

㉒ Erfinder:  
Fleischer, Maximilian, 8000 München, DE; Stein,  
Dieter, Dipl.-Phys., 8150 Holzkirchen, DE; Meixner,  
Hans, Dr., 8013 Haar, DE

⑤A Piezomotor

Piezomotor mit wählbar zwei Antriebsrichtungen und mit Stillstands-Betriebsphase mit einem Antriebselement (2, 33, 133, 233), das zueinander orthogonale Bewegungskomponenten (L, T) erzeugt, die in ihrer Phasenbeziehung zueinander (0°, 180°, 90°) einstellbar sind.

FIG1



DE 3833342 A 1

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Piezomotor, wie er im Oberbegriff des Anspruchs 1 angegeben ist.

Piezoelektrische Motoren mit Friktionsantrieb sind bekannt aus z.B. der US-PS 33 02 043, der US-PS 37 31 267, aus der DE-AS 14 88 698 und aus Feingeräte-technik 29. Jahrgang (1980), Seite 316 bis 319.

Aus den vorgenannten Druckschriften gehen auch solche piezoelektrischen Motoren hervor, deren Antrieb zwei oder mehrphasige Wechselspannungs-Speisung aufweisen. Grundsätzlich werden die mehreren Phasen dazu benutzt, eine in der gewünschten Bewegungsrichtung des Antriebs auf das Abtriebssteil liegende Bewegungskomponente im Bereich der auftretenden, der Übertragung dienenden Friktion zu bewirken.

Für einen piezoelektrischen Motor, der wie üblich ein in Schwingungsbewegung zu versetzendes Teil als Antrieb aufweist, ist es vorteilhaft, wenn dieses Antriebsteil wenigstens im wesentlichen Stabform hat. Stäbe aus piezoelektrischen Material, gegebenenfalls laminiert, lassen sich relativ einfach herstellen und sind robust.

Üblich ist es, den piezoelektrischen Antrieb, insbesondere den piezoelektrischen Stab, in Resonanzschwingung eines Eigenschwingungsmodos anzuregen. Damit erhält man ganz wesentliche Vergrößerung der Bewegungsamplitude des piezoelektrischen Antriebs-elementes und damit auch des Abtriebssteils.

Mittels eines piezoelektrischen Motors kann ein linearer Antrieb oder auch ein Rotationsantrieb vorgesehen sein, wobei dementsprechend das Abtriebssteil z.B. als Rad (Rotationsantrieb) ausgebildet ist. Im obengenannten Stand der Technik sind auch solche Ausführungsformen enthalten, bei denen sich der eigentliche Antrieb im Inneren eines Ringes auswirkt.

Piezoelektrische Motoren können so ausgestaltet sein, daß sie je nach Betriebsweise vorwärts und rückwärts laufen, rechtsumlaufende Drehrichtung und links-umlaufende Drehrichtung haben.

Der in der DE-OS 33 09 239 beschriebene piezoelektrische Motor wird mit einer Wechselspannung betrieben, die zwei voneinander verschiedene Eigenmoden angeregt. Die Frequenzen dieser beiden Eigenmoden liegen so dicht beieinander, daß eine Bandfiltercharakteristik auftritt. Die resultierende Schwingung dieser Wechselspannungsanregung führt zu einer umlaufenden Belegung von Flächenelementen der Friktionsfläche, etwa in der Art von Oberflächenelementen einer wellenbewegten Wasseroberfläche. Es ergibt sich (nur) eine Drehrichtung.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen piezoelektrischen Motor so auszubilden, daß durch entsprechende Wahl der Phasen der anregenden Wechselspannungen Vorwärtslauf und Rückwärtslauf sowie auch eine Stillstandsphase bzw. Freilauf des Motors zu erreichen ist.

Diese Aufgabe wird mit einem piezoelektrischen Motor nach dem Patentanspruch 1 gelöst und weitere Ausgestaltungen und Weiterbildung der Erfindung gehen aus den Unteransprüchen hervor.

Der im Zusammenhang mit der Erfindung verwendete Begriff "Piezomotor" umfaßt sowohl piezoelektrischen als auch piezomagnetischen Antrieb. Der piezomagnetische Antrieb wird im allgemeinen als magnetostruktiv Antrieb bezeichnet. Piezomagnetisch und magnetostruktiv unterscheiden sich nur darin, daß im ersten Fall der magnetische Körper polarisiert ist, d.h. eine

magnetische Vorpolarisation besitzt, die größer ist als die durch Anregung bewirkte magnetische Wechselamplitude.

Soweit im nachfolgenden von piezoelektrisch gesprochen ist, ist damit im Sinne der Erfindung auch magnetostruktiv und piezomagnetisch miteingeschlossen.

Die Erfindung beruht auf Überlegungen, die der einfacheren Erläuterung halber am schematischen Beispiel der Fig. 1 erläutert werden.

In Fig. 1 ist mit 1 ein Rad als Abtriebskörper bezeichnet, das aufgabengemäß wahlweise in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung anzutreiben ist. Mit 2 ist ein Stab bezeichnet. Es sind an dem Stab 2, der vorzugsweise eckigen Querschnitt hat, Plättchen 30, 40, 50, 130, 140 und 150 aus piezoelektrischem Material mit den jeweiligen Elektroden 31, 41, 51, 131, 141, 151 angebracht. Im Falle eines metallischen Stabes 2 genügt dieser als jeweilige Gegenelektrode. Die Plättchen 40 und 140 werden in an sich bekannter Weise durch Anlegen einer elektrischen Spannung so gespeist, daß sich entsprechend der Stablänge eine resonante Longitudinalschwingung des ganzen Stabes 2 in dessen Längsrichtung ergibt. Die beiden Plättchenpaare 30, 130 und 50, 150 werden so gespeist, daß sich im Bereich der beiden Plättchenpaare je eine, jedoch zueinander entgegengesetzte, Biegung des Stabes 2 ergibt.

Das Ergebnis der Anregung derartiger Longitudinalschwingung und derartiger Biegeschwingungen führt zu einer Schwingungsform der Friktionsfläche 4, d.h. der Berührungsfläche zwischen dem Rad 1 und dem Stab 2, die durch die Lissajous-Figur 3 angedeutet ist. Wesentlich für dieses Schwingungs-Anregungsschema ist, daß das Plättchenpaar 40, 140 einerseits und die Plättchenpaare 30, 130 und 50, 150 andererseits mit voneinander verschiedenen Frequenzen gespeist werden, wobei jedoch diese zwei Frequenzen in einem ganzzahligen Verhältnis 2, 3, 4 ... stehen. Damit sind Kopplungen zwischen den beteiligten (Schwingungs-)Moden vermieden. Vorwärtslauf und Rückwärtslauf sind zu erreichen, indem man die Phasenlage der Anregungswechselspannung der Plättchenpaare 30, 130 und 50, 150 gegenüber der Phasenlage der Wechselspannung des Plättchenpaares 40, 140 von 0 auf 180° ändert.

Die Lissajous-Figur a, b der Fig. 2 wird damit wahlweise in der einen oder in der anderen Richtung durchlaufen.

Die Stillstands-Betriebsphase bzw. der Freilauf wird durch eine Phasenlage von 90° zwischen der Wechselanregung des Plättchenpaares 40, 140 und der Wechselanregung der Plättchenpaare 30, 130 und 50, 150 erreicht. Diese 90°-Phasenlage ergibt die Lissajous'sche Figur c der Fig. 2. Beim extremen Maß der Elongation ergibt sich lediglich eine solche Berührung an der Oberfläche des Rades 1 bzw. des Abtriebskörpers, die eine Bewegungskomponente praktisch ausschließlich nur in Normalen-Richtung zu dieser Oberfläche hat.

Die Wahl einer jeweiligen Phase zwischen 0° und 90° bzw. zwischen 90° und 180° führt zu jeweils verminderter Geschwindigkeit des Abtriebs, bzw. der Drehzahl, in jeweiliger Richtung.

Der Vollständigkeit halber ist mit den Einzeldarstellungen der Fig. 3a bis Fig. 3c ein Finite-Elemente-Modell des Resonator-Stabes 2 angegeben. Fig. 3a zeigt den Ruhezustand, Fig. 3b zeigt die Phase maximaler Längen-Kontraktion des Stabes 2 bei Biegung Null und Fig. 3c zeigt die Phase maximaler Biegung bei Longitudinaländerung Null.

Ein Piezomotor nach der Erfindung ist auch für Line-

arantrieb geeignet, wie dies die Fig. 4 zeigt. Ein Vorzug eines erfindungsgemäßen Piezomotors ist z.B., daß sein Antrieb über punkt- oder linienförmigen Kontakt ausführbar ist. Das Antriebskörper 11 kann z.B. ein "anzutreibendes" Blatt Papier oder dgl. sein. Dies ermöglicht, den Friktionsantrieb auch bei einem nichtebenen Abtriebsselement 11 auszuführen. Dies kann z.B. über seine Fläche hinweg unterschiedlich dick und/oder gewellt sein.

Die weiteren Fig. zeigen praktische Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Motors bzw. seines Antriebs.

Fig. 5 zeigt ein mit 33 bezeichnetes, im wesentlichen stabförmiges Element mit piezoelektrischem Antrieb. Dieses umfaßt einen scheibenförmigen Anteil 34 aus Piezokeramik und zwei weitere Anteile 35 und 36 aus ebenfalls Piezokeramik. Mit 134 ist eine beispielsweise vorgesehene Polarisationsrichtung der permanenten Polarisation des Keramikanteils 34 angegeben. Mit den Pfeilen 135 und 136 sind zueinander entgegengesetzte Polarisationsrichtungen der Keramikanteile 35 und 36 angegeben. Die übrigen Anteile 37, 38 und der Stößel 39 sind vorzugsweise aus Metall bestehende Anteile des Antriebsselements 33.

Die Funktionsweise der Ausführungsform nach Fig. 5 ist diejenige:

Der Keramikanteil 34 befindet sich in dem Antriebsselement 33 (bezogen auf dessen Längsachse) vorzugsweise an einem Ort, der zumindest nahe dem (bezogen auf diese Längsachse) vorliegenden Schwingungsknoten der Longitudinalresonanz des Antriebsselements 33 ist. Der Keramikanteil 34 dient als piezoelektrisches Anregungselement für die Longitudinalschwingungen. Dieser Keramikanteil 34 hat in das Antriebsselement 33 eingefügte Elektroden 42 und 43, die z.B. die Metallanteile 37 und 38 des Antriebsselements 33 sind. Vorzugsweise sind die Metallanteile und die Keramikanteile miteinander verschraubt. Dies geht z.B. aus der DE-OS 36 033 53, 36 033 29 hervor. Es kann aber auch Lötung oder elektrisch leitfähige Klebstoffverbindung vorgesehen sein. Insbesondere sind die Keramikanteile 34, 35 und 36 auf ihren Elektrodenflächen (wie üblich) metallisiert. Diese Elektrodenflächen sind außerdem die Verbindungsflächen der Keramikanteile 34, 35 und 36 mit den Metallanteilen 37, 38 und 39.

Bei Anlegen einer elektrischen Wechsellspannung  $U_1$  an die Anschlußleitung 101, 102, d.h. an die Elektroden 42 und 43, kann bei auf eine Longitudinalresonanz des Antriebsselements 33 abgestimmter Frequenz dieser Wechsellspannung das ganze Antriebsselement 33 in Longitudinal-Resonanzschwingung versetzt werden. Insbesondere führt dabei die Friktionsfläche 4, das ist die Berührungsfläche zwischen dem Ende des Anteils 39 und dem Abtriebskörper 1, Schwingungsamplituden in Längsrichtung des Antriebsselements 33 aus.

Bei Anlegen einer frequenzabgestimmten Wechsellspannung  $U_2$  zwischen den Anschlüssen 101 und 103 ergibt sich, daß zwischen den Elektrodenpaaren 32, 33 des Keramikanteils 35 einerseits und zwischen den Elektrodenpaaren 132 und 133 des Keramikanteils 36 andererseits Kontraktions- und Dilatationsbewegungen (in Resonanz mit der Anregungswechsellspannung  $U_2$  zwischen den Anschlüssen 101 und 103) auftreten. Bei der jeweiligen Richtung der Feldstärke der elektrischen Wechsellspannung  $U_2$  in den Keramikanteilen 35 und 36 und den schon erwähnten entgegengesetzten (permanenten) Polarisationsrichtungen 135 und 136 ergibt sich, daß in der Phase der Kontraktion des Keramikanteils 35

der Keramikanteil 36 gerade Dilatation aufweist. Nach weiteren 180° der Wechsellspannung  $U_2$  sind die Verhältnisse umgekehrt. Dies führt dazu, daß das stabförmige Ende des Anteils 39 eine Schwenkbewegung bezogen auf das Antriebsselement 33 ausführt, nämlich eine entsprechende transversale Schwingungsbewegung  $T$ .

Diese auf Biegungen beruhende Transversalbewegung  $T$  und die Longitudinalbewegung  $L$  ergeben zusammen das der Lissajous-Figur 3 entsprechende Bewegungsbild der Friktionsfläche 4. Das Abtriebsrad 1 kann damit durch periodisch auftretenden Friktionsantriebs z.B. rechtsumlaufend angetrieben werden. Eine Phasenänderung um 180° der Spannung  $U_2$  gegenüber der Spannung  $U_1$  führt dazu, daß die transversale Schwingung  $T$  gegenüber der Longitudinalschwingung  $L$  um entsprechend 180° phasenverschoben ist. Dies führt dann zu entgegengesetztem, hier also linksumlaufendem Antrieb des Abtriebsrades 1. Haben die Bewegungen  $L$  und  $T$  90° Phasenverschiebung ergibt sich der Freilauf.

Wie schon aus dem voranstehenden hervorgeht, muß die Frequenz der Wechsellspannung  $U_1$  ein ganzzahliges (2, 3, 4 ...) Vielfaches der Frequenz der Wechsellspannung  $U_2$  sein.

Die Fig. 6 zeigt eine den äußeren Abmessungen im wesentlichen der vorangehenden beschriebenen Ausführungsform entsprechende weitere Ausführungsform. Wesentlicher Unterschied der Ausführungsform nach Fig. 6 ist, daß die die Biegebewegung bewirkenden Antriebsselemente außen an dem den Anteil 39 entsprechenden Anteil 139 des Antriebsselements 133 angeordnet sind. Bei entsprechend phasenentgegengesetztem piezoelektrischen Verhalten (phasenentgegengesetzte elektrische Anregung oder entsprechend entgegengesetzter permanente Polarisationsrichtung) der Keramikanteile 235 und 236 wird wiederum die transversale Schwingungsbewegung  $T$  erzeugt. Die longitudinale Schwingungsbewegung wird wieder mittels des Keramikanteils 34 bewirkt.

Fig. 7 zeigt eine doppelseitige Ausführungsform, die im vorliegenden Falle an die Ausführung der Fig. 5 angelehnt ist. Die beiden Enden 39 und 239 führen Schwingungsbewegung  $T$  und  $L$  aus. Ein solches Antriebsselement 233 der Fig. 7 kann vorteilhafterweise dazu verwendet werden, als Antrieb im Inneren eines kreisringförmigen Abtriebskörpers 70 angebracht zu werden, das in Rotation zu versetzen ist.

Bei der Erfindung handelt es sich also um einen für drei Betriebszustände (zwei Drehrichtungen und Freilauf) ausgelegten Friktionsmotor mit piezoelektrischem oder -magnetischem (magnetostriktivem) Antrieb, bestehend aus einem schwingfähigen Körper mit mindestens zwei Anregungsgruppen und einem primär linear angetriebenen Abtriebskörper 1, 11, 70. Das schwingfähige Antriebsselement hat mindestens zwei Sätze von Eigenmoden, die zu zueinander orthogonalen Komponenten  $L$ ,  $T$  der Bewegungsrichtung anregbar sind. Die Resonanzspektren dieser Sätze von Eigenmoden besitzen keine gemeinsamen Frequenzen. Verwendet werden zwei Schwingungen unterschiedlicher, aber in einem ganzzahligen Verhältnis zueinander stehender Frequenzen.

Vorteile gegenüber bestehenden piezoelektrischen Motoren sind:

- Antrieb über linien- oder punktförmigen Kontakt,
- linearer Antrieb passiver Abtriebskörper ist er-

reichbar,

– Antrieb nicht ebener Elemente ist möglich (Fig. 4).

Fig. 8 gibt ein Schaltungsbeispiel zur Fig. 1. Mit 84 ist die jeweilige Polarisationsrichtung der Keramik der Plättchen 30, 130 ... 150 angegeben. Auf den freien Oberflächen der Plättchen befinden sich die zur Fig. 1 beschriebenen Elektroden 31, 131 ... 151. Mit 82 und mit 83 sind die Anschlüsse für die Anregungsspannungen für die beiden Schwingbewegungen mit zueinander ganz-zahligen Verhältnis ihrer Schwingungsfrequenzen.

#### Patentansprüche

1. Piezomotor  
mit einem Antriebselement (2, 33, 133, 233)  
mit einem Abtriebskörper (1, 11, 70)  
die beide in Friktionskontakt miteinander sind, wobei das Antriebselement einen mittels elektrischer Wechselfspannung piezoelektrisch oder magnetostriktiv zu zwei zueinander phasenverschobenen Resonanzschwingungen anzuregenden Aufbau aufweist, der zu zwei zueinander orthogonalen Bewegungskomponenten ( $L$ ,  $T$ ) im Bereich des Friktionskontakts führt, wobei die eine Bewegungskomponente ( $L$ ) Andruck und die andere Bewegungskomponente ( $T$ ) den vorgegebenen Antrieb bewirkt, gekennzeichnet dadurch
  - daß das Antriebselement (2, 33, 133, 233) zwei Anregungssysteme (40, 140; 30, 130; 50, 150 oder 34, 35, 36; oder 34; 235, 236) aufweist, die elektrisch bzw. magnetisch funktionell voneinander getrennt zu eigenen Resonanzschwingungen mit zueinander wählbar vorgegebener Phase der zwei mechanischen Schwingungsbewegungen ( $L$ ,  $T$ ) anregbar sind und
  - daß die zwei Anregungssysteme so bemessen sind, daß sie zwei voneinander verschiedene Betriebs-Resonanzfrequenzen haben, die ein ganzzahliges Verhältnis zueinander haben, wobei die jeweilige Bandbreite der einzelnen Anregungssysteme für die jeweilige Betriebs-Resonanzfrequenz klein gegenüber dem Frequenzabstand ist.
2. Piezomotor nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, daß die eine der zwei zueinander orthogonalen Bewegungskomponenten eine Longitudinalbewegung ( $L$ ) des Antriebselements (2, 33, 133, 233) eine longitudinale Schwingungsbewegung und die andere Bewegungskomponente ( $T$ ) eine Biegeschwingungsbewegung ist.
3. Piezomotor nach Anspruch 1 oder 2, gekennzeichnet dadurch, daß die Anregungssysteme der beiden mechanischen Schwingungsbewegungen ( $L$ ,  $T$ ) in dem Antriebselement integriert enthalten sind.
4. Piezomotor nach Anspruch 1, 2 oder 3, gekennzeichnet dadurch, daß am bzw. im Antriebselement (2, 33, 133, 233) Mittel (40, 140; 34) vorgesehen sind, die die Longitudinalbewegung ( $L$ ) bewirken.
5. Piezomotor nach einem der Ansprüche 1 bis 4, gekennzeichnet dadurch, daß am bzw. im Antriebselement (2, 33, 133, 233) Mittel (30, 130, 50, 150; 35, 36) vorgesehen sind, die die Biegebewegung ( $T$ ) bewirken.
6. Piezomotor nach einem der Ansprüche 1 bis 5,

gekennzeichnet dadurch, daß piezoelektrische Mittel zur Erzeugung der zueinander orthogonalen Bewegungskomponenten ( $L$ ,  $T$ ) vorgesehen sind.

7. Piezomotor nach Anspruch 6, gekennzeichnet dadurch, daß diese piezoelektrischen Mittel derart angeordnet und geschaltet sind, daß sie mit dem  $d_{31}$ -Effekt wirksam sind (Fig. 1, 4).

8. Piezomotor nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, daß diese piezoelektrischen Mittel derart angeordnet und geschaltet sind, daß sie mit dem  $d_{33}$ -Effekt wirksam sind (Fig. 5).

9. Piezomotor nach einem der Ansprüche 1 bis 8, gekennzeichnet dadurch, daß das Antriebselement (233) in einer Achse in zwei Richtungen wirksam ist (Fig. 7)

10. Piezomotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet dadurch, daß er zur Erzeugung von Drehbewegungen eingebaut ist.

11. Piezomotor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet dadurch, daß er zur Erzeugung von Linearbewegungen eingebaut ist.

---

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

---

FIG1

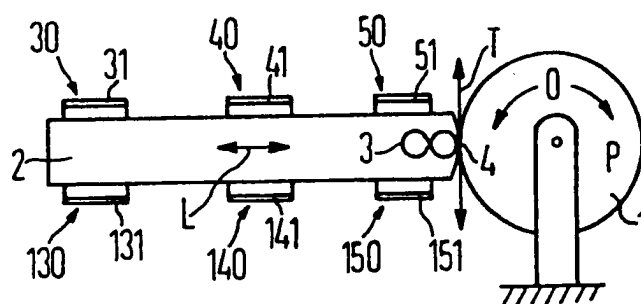


FIG 2

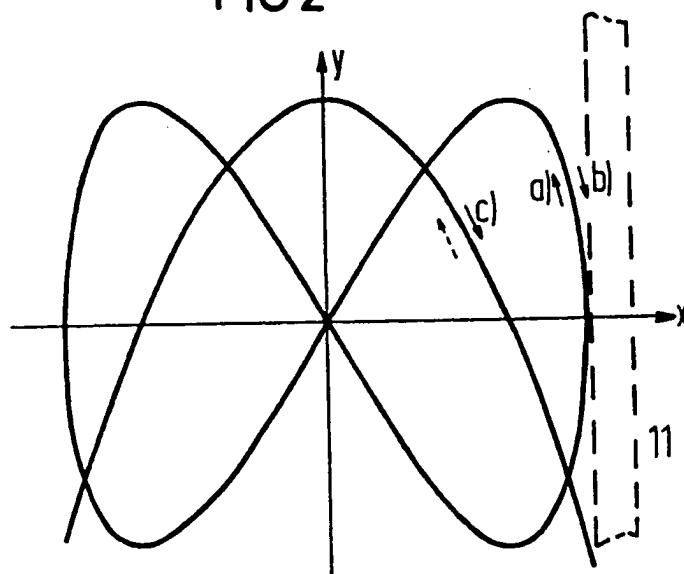


FIG 3a

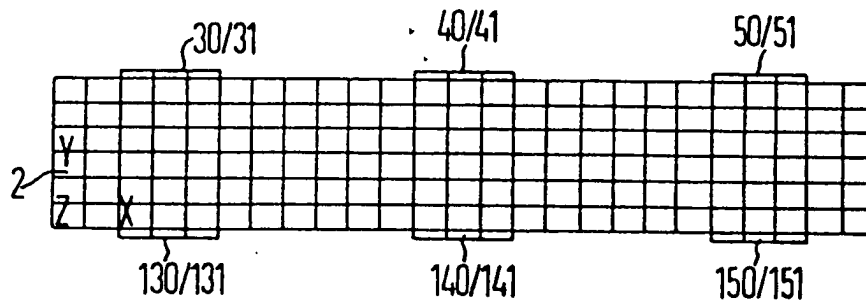
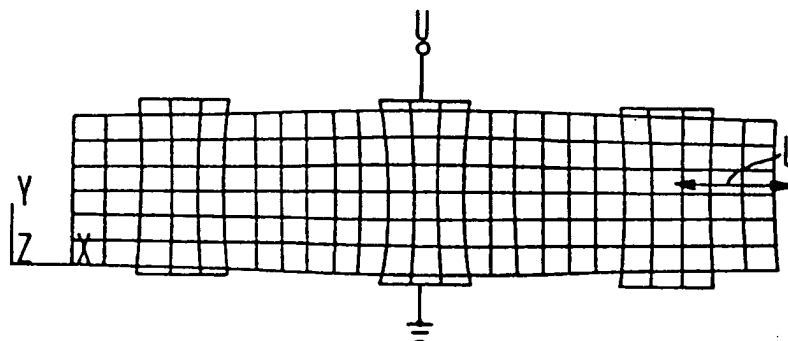
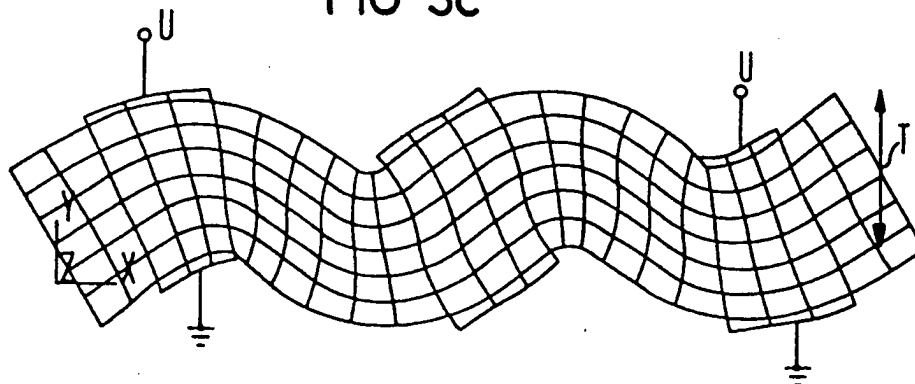


FIG 3b



(Phase der Kontraktion)

FIG 3c



(3. Oberschwingung der Biegung)

FIG 4

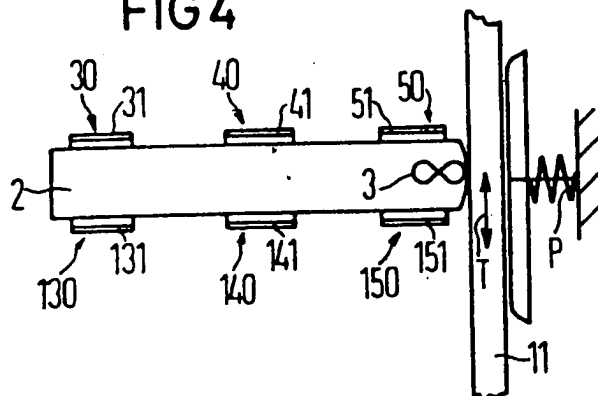


FIG 5

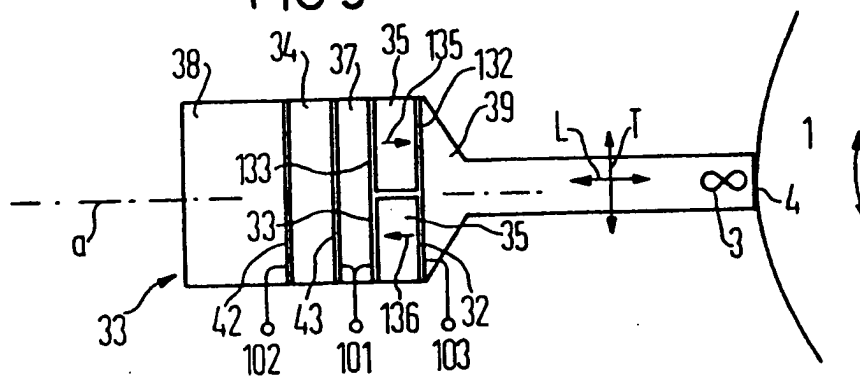


FIG 6

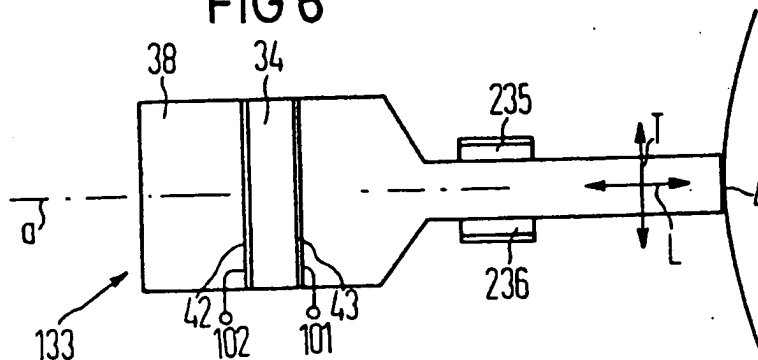


FIG 7

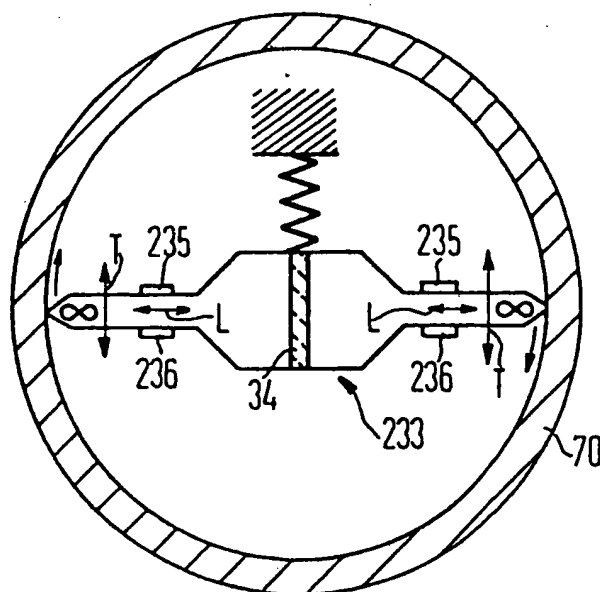


FIG 8

